

УДК 62-522

Черкашенко М.В., Фатеев А.Н.

## СИНТЕЗ СХЕМ ГИДРОПНЕВМОАГРЕГАТОВ

В последнее время происходит широкое внедрение в промышленность систем гидропневмоагрегатов промышленных роботов, подъемно-транспортных машин, автоматических линий и других сложных машин-автоматов. Активному внедрению пневмоагрегатов в промышленность оказывают относительная простота конструкции и эксплуатации; большой срок службы; надежность работы в низком диапазоне температур в условиях большой влажности, запыленности и радиации окружающей среды; пожаро- и взрывобезопасность и др. Итак, дальнейшее повышение эффективности и качества проектирования пневмоагрегатов приобретает все большее значение.

В настоящей работе авторы приводят новую структурную организацию схем гидропневмоагрегатов дискретно-аналогового управления с использованием дискретной аппаратуры, а в частности распределителей с односторонним управлением (РОУ). Дается метод проектирования многотактных схем дискретно-аналогового управления с использованием РОУ, включающий в себя:

- описание работы системы гидропневмоагрегата;
- структурный синтез гидропневмоагрегата ;
- синтез многотактной схемы управления;
- синтез схемы для отдельного позиционного гидропневмоагрегата.

Структурная организация системы гидро- и пневмоприводов (а.с. СССР №№1166064, 1399533) (рис. 1) базируется на симбиозе агрегатного и элементного подходов к структурному синтезу [1,2].

Эта структура позволяет свести к минимуму число элементов памяти (ЭП) блока памяти, а также число логических элементов, необходимых для реализации схемы.

Множество входных сигналов управляющих автоматов (УА)  $X$  состоит из подмножества сигналов  $X_c$  выходов узлов  $U$ , а также из подмножества  $X_e$  влияния от органов ручного управления. Во входном блоке формируется множество условий  $E$ , которое состоит из подмножеств  $Q$  и  $T$ . Каждое условие из подмножества  $Q$  функционально зависит от сигналов из множества  $X$ , которые определяют соответствующий переход в реализуемом технологическом процессе, и описывается конъюнкцией входных переменных УА, которые принимают единичное значение на данном наборе. Каждое условие из подмножества  $T$  зависит не только от указанных выше сигналов, которые вызывают переходы, но и от дополнительных сигналов из подмножества  $X_c$ . Набор входных сигналов УА, при котором принимает единичное значение условие из подмножества  $T$ , дальше называем удлинненным набором. Рассмотрим такие удлинненные наборы  $T$ , которые дополнены минимальным числом переменных.

Блок памяти 5 включает в себя командоаппарат, содержащий последовательно соединенные ЭП (триггеры с отдельными входами), каждый предшествующий ЭП включается сигналом с выхода следующего (следующим за последним ЭП считается первый). В командоаппарате используется один выход ЭП. Исключение составляет случай, если УА содержит два внутренних состояния, а блок памяти содержит один ЭП и при этом используются два его инверсных выхода.

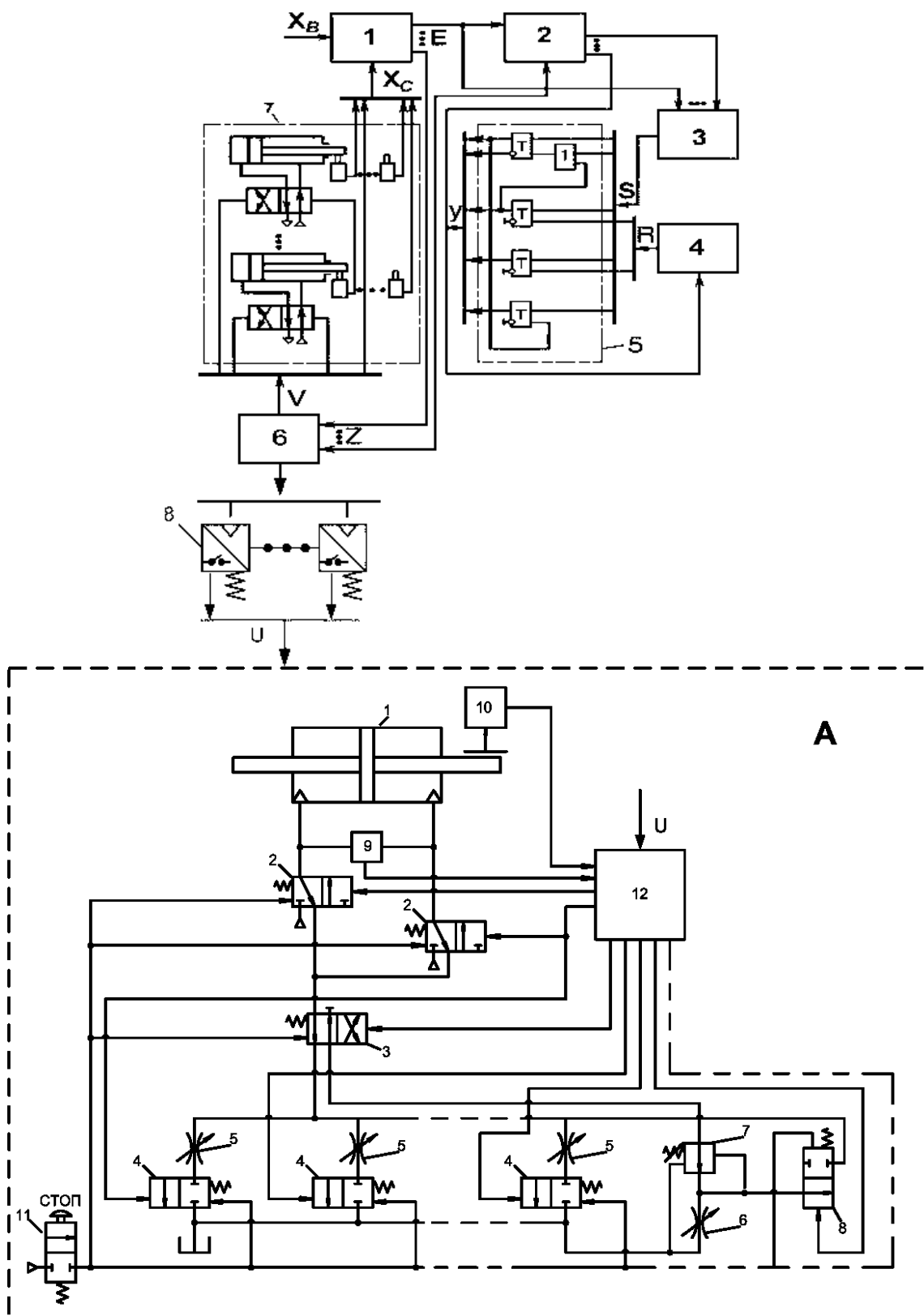


Рисунок 1– Структурная организация гидропневмоагрегатов

Блок совпадений 1 служит для формирования множества  $V$  условий, любое из которых функционально зависит от удлинённых некоторыми сигналами из множества  $Y$  условий из  $E$ .

Блок разделений включений 3 содержит элементы  $\vee$  и используется при включении одного ЭП разными наборами из множества  $U$  для разных программ работы УА.

Блок разделений включений 4 содержит элементы  $\vee$  и используется в случае нескольких программ работы УА, которые приводят к появлению различного числа внутренних состояний для каждой программы.

Выходной блок 6 содержит элементы  $\vee$ , а также пневмо- или гидрораспределители, которые посылают рабочую среду в исполнительные устройства 7. В рассмотренной структуре, в отличие от стандартной позиционной структуры, сигналы от входного блока совпадений 1 или от блока совпадений 2 подаются непосредственно в выходной блок разделений 6, тогда как в стандартной структуре в выходной блок подаются сигналы от блока памяти. Это дает возможность использовать две особенности агрегатного и элементного подходов к проектированию систем приводов с УА: командоаппаратный принцип выполнения блока памяти (из агрегатного подхода) и удлинение наборов, которые вызывают переходы (из элементного подхода), с дальнейшим синтезированием минимального блока памяти и формального удлинения наборов, вызывающих переходы. Блок 8 – блок пневмо(гидро)-электрореобразователей.

Блок позиционирования (рис. 1 поз. А) содержит цилиндр 1, два управляемых трехлинейных двухпозиционных распределителя 2, управляемый четырехлинейный двухпозиционный распределитель 3, подпружиненные клапаны 4 и дроссели 5, которые параллельно подключены к линии слива, дроссель 6, редукционный клапан 7, дополнительный подпружиненный клапан 8, датчик 9 перепада давлений в полостях цилиндра и датчик 10 положения штока, сигналы от которых поступают в управляющее устройство 12, кнопка аварийной остановки 11, сигнал, от которой подается на входы управления распределителей 2,3 и клапанов 4,8, возвращая их в исходное положение.

Распределители 2 соединяют полости цилиндра 1 с напорной (сливной) магистралью в зависимости от управляющего сигнала. Все управляющие сигналы, которые подаются на входы распределителей 2,3 и клапанов 4,8 поступают из управляющего устройства 12.

Распределитель 3, установленный в линии слива, обеспечивает два основных режима работы привода и один дополнительный.

При первом режиме работы привода расход рабочей среды будет определяться не только конфигурацией линии слива (набор включенных клапанов 4), но и давлением рабочей среды в полости сброса давления.

Второй режим работы привода обеспечивает компенсацию изменения нагрузки на штоке. В этом режиме на управляющие входы распределителя 3 и клапана 8 подаются сигналы и рабочая среда из полости сброса давления проходит через редукционный клапан 7.

Дополнительный режим работы привода обеспечивает ручное регулирование параметров движения поршня независимо от нагрузки на штоке. В этом случае управляющий сигнал подается на распределитель 3 и рабочая среда проходит через редукционный клапан 7 и дроссель 6 на слив. Параметры движения регулируются настройкой дросселя 6, на котором поддерживается постоянный перепад давления независимо от нагрузки на штоке цилиндра.

В основных режимах работы привода дросселирование рабочей среды осуществляется через выбранную управляющим устройством 12 комбинацию параллельно включенных клапанов 4 (дросселей 5). Выбор управляющей комбинации происходит с учетом информации, поступающей от датчиков 9, 10 и сигнала  $U$ .

Эффективные площади дросселей 5 выбираются таким образом, чтобы обеспечить соотношение расходов в параллельных ветвях по формуле

$$f_j = \frac{f_p f_k}{\sqrt{(f_p^2 + f_k^2)(2^{2(n-j)} - 1)}},$$

где  $f_p$  и  $f_k$  – соответственно эффективные площади распределителей и клапанов;  $n$  – число клапанов;  $j$  – порядковый номер клапана и соединенного с его входом дросселя.

Конструктивное выполнение привода позволяет осуществлять цифровое регулирование проводимости сливной линии в ее широком диапазоне и тем самым улучшить динамические характеристики привода.

Сокращение числа уравнений достигается двумя путями: уменьшением количества уравнений включений ЭП (минимизация структуры; уменьшением количества уравнений включений и выключений ИУ при неиспользовании ЭП в выходном блоке УА.

Предложенный метод уменьшает количество уравнений, синтезированных вследствие удлинения наборов  $Q$ . В связи с этим минимизируется число столбцов МС. Удлинения находим по следующему алгоритму.

Проводим разбиение последовательности входных наборов на блоки [2] таким образом, чтобы в каждом из них не было одинаковых входных наборов и последние наборы соседних блоков не были одинаковыми.

Строим матрицу соответствий МС [2].

Для одинаковых наборов проводим удлинения поднаборов соответствующими сигналами.

Заполняем МС единицами, если поднабор столбца входит в набор строки, и нолями в противном случае.

Выбираем функции для синтеза уравнений.

Для выбранного проверяем временной интервал его действия по столбцу с целью устранения «0», проведя соответствующие удлинения поднаборов. Если устранение не возможно, используем ЭП в выходном звене.

Строим минимизированную МС.

Выписываем уравнения для функций переключения «памяти» и функций выходов. Функцию  $z_{\zeta}(\bar{z}_{\zeta})$  формируем дизъюнкцией входных наборов для переходов временного интервала их действия.

При удлинении следует учитывать возможности ЭП внутренней памяти.

Рассмотрим выбор синтезированных функций. В общем случае функции выходов

$$\tilde{Z} = f(X, Y),$$

где  $\tilde{Z}$  – функции включения (отключения) выходов;  $X$  – множество входных сигналов,  $Y$  – множество сигналов с выходов ЭП.

Функции переключения ЭП

$$S = f(X, Y), R = f(Y),$$

В случае двух внутренних состояний

$$S, R = f(X),$$

На рис. 2 представлены возможные схемы включения каналов распределителей с односторонним управлением для пневмоприводов. Для сокращения числа уравнений достаточно синтезировать  $z_{\zeta}$  или  $\bar{z}_{\zeta}$ . Основным критерием при выборе функции ( $z_{\zeta}$  или  $\bar{z}_{\zeta}$ ) является число минимизированных столбцов МС (неиспользованных столбцов), а также тех, которые имеют наибольшее число удлинений.

Следующий критерий, неразрывно связан с основным, – число переходов, которые составляют временной интервал действия. Если временные интервалы для обеих инверсных функций одинаковые, то целесообразно выписать обе функции и выбрать оптимальное решение.

Построение схемы покажем на примере синтеза пневмоагрегата промышленного робота, условие работы системы управления которого представлено в виде графа операций [3] (рис. 3). Таблица взаимодействия входных и исполнительных устройств дана ниже:

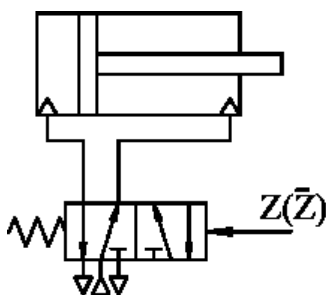


Рисунок 2 – Схема подключения исполнительных устройств

Таблица

| Исполнительные устройства |                 | Входные сигналы    |                    |
|---------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| Обозначение               | Наименование    | Исходное положение | Конечное положение |
| Ц1                        | Захват          | -                  | X3                 |
| Ц2                        | Выдвижение руки | X4                 | X5                 |
| Ц3                        | Поворот руки    | X6                 | X7                 |
| X1 – кнопка пуска         |                 |                    |                    |

Под графом операций понимают ориентированный граф, вершины А которого однозначно отвечают операциям технологического процесса, а дуги – переходам от одних операций к другим. На дугах графа операций записываются секвенции вида  $Q_{\gamma} \mapsto z_v$  (т.е. формулы типа "если справедливо условие  $Q_{\gamma}$ , то справедливо условие  $z_v$ "). Здесь  $Q_{\gamma}$  представляет собой входной набор УА, который содержит выходы  $x_c$  узлов, воздействия  $x_b$  от органов ручного управления и др. Набор  $Q_{\gamma}$  переводит УА от

одних операций к другим. Выходной набор УА  $z_v$  содержит входы узлов, которые изменили свои значения на данном переходе.

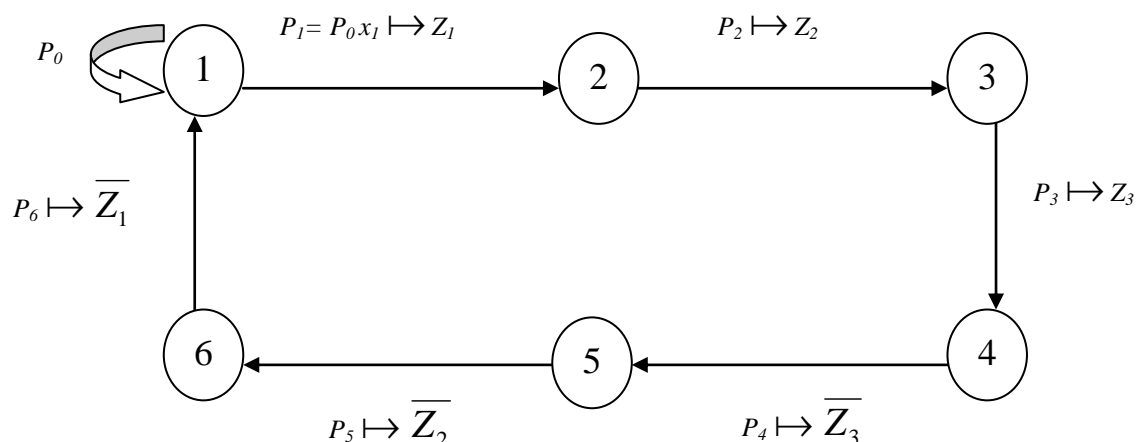


Рисунок 3 – Граф операций

Здесь  $P_0 = \emptyset, x_4x_6y$ ;  $P_1 = x_1, x_4x_6$ ;  $P_2 = x_3, x_4x_6$ ;  $P_3 = x_5, x_3x_6$ ;  $P_4 = x_5, x_3x_6$ ;  $P_5 = x_7, x_5$ ;  $P_6 = x_6, x_3x_5$ ;  $P_7 = x_4, x_3x_6$

Матрица соответствия имеет вид:

|                                       | $x_1$ | $x_3y$ | $x_5y$ | $x_7$ | $x_6\bar{y}$ | $x_4\bar{y}$ |           |
|---------------------------------------|-------|--------|--------|-------|--------------|--------------|-----------|
| $\emptyset, x_4x_6 \mapsto \emptyset$ | 0     | 0      | 0      | 0     | 1            | 1            | $\bar{y}$ |
| $x_1, x_4x_6 \mapsto z_1 S$           | 1     | 0      | 0      | 0     | 1            | 0            | $y$       |
| $*x_3, x_4x_6 \mapsto z_2$            | 0     | 1      | 0      | 0     | 0            | 0            | $y$       |
| $**x_5, x_3x_6 \mapsto z_3$           | 0     | 1      | 1      | 0     | 0            | 0            | $y$       |
| $x_7, x_5 \mapsto \bar{z}_3 R$        | 0     | 0      | 0      | 1     | 0            | 0            | $\bar{y}$ |
| $**x_6, x_3x_5 \mapsto \bar{z}_2$     | 0     | 0      | 0      | 0     | 1            | 0            | $\bar{y}$ |
| $*x_4, x_3x_6 \mapsto \bar{z}_1$      | 0     | 0      | 0      | 0     | 1            | 1            | $\bar{y}$ |

Сканируя столбцы выбираем функции выходов системы управления. Для этого на временном интервале действия  $z_\zeta$  ( $\bar{z}_\zeta$ ) находим «0», которые прерывают интервал и проводим их устранение путем изменения поднаборов  $Q$ . Так для функции  $Z_1$  (первый столбец) имеем «0» на пересечении со столбцом с выходом  $\bar{Z}_2$  при  $\bar{y} = 1$ . Что не дает устранить преждевременное срабатывание  $\bar{Z}_1 = 1$ .

Если включать «память» в переходе из первой вершины во вторую, то ноли, стоящие во временном интервале действия  $y = 1$  не влияют на временной интервал действия  $Z_1$ . Таким образом, для исполнительного устройства Ц1 выбираем функцию  $\bar{Z}_1$ . Здесь в столбце  $x_4\bar{y}$  на пересечении со строкой для  $Z_1 = 1$  устраняется при переключении «памяти». Для исполнительного устройства Ц2 выбираем «память». Так как

устранение «0» не возможно. Кроме того, Ц2 требует позиционирования руки работа, для чего принимаем схему позиционирования с программным управлением (рис. 1, поз. А). Для исполнительного устройства Ц3 выбираем  $Z_3$ .

Минимизированная матрица МС имеет вид

|                                       | $x_3y$ | $x_5y$ | $x_6\bar{y}$ | $x_4\bar{y}$ |           |
|---------------------------------------|--------|--------|--------------|--------------|-----------|
| $\emptyset, x_4x_6 \mapsto \emptyset$ | 0      | 0      | 1            | 1            | $\bar{y}$ |
| $x_1, x_4x_6 \mapsto z_1 S$           | 0      | 0      | 1            | 0            |           |
| $*x_3, x_4x_6 \mapsto z_2$            | 1      | 0      | 0            | 0            | y         |
| $**x_5, x_3x_6 \mapsto z_3$           | 1      | 1      | 0            | 0            |           |
| $x_7, x_5 \mapsto \bar{z}_3 R$        | 0      | 0      | 0            | 0            |           |
| $**x_6, x_3x_5 \mapsto \bar{z}_2$     | 0      | 0      | 1            | 0            | $\bar{y}$ |
| $*x_4, x_3x_6 \mapsto \bar{z}_1$      | 0      | 0      | 1            | 1            |           |

Синтезируя уравнения, получаем

$$S = x_1; R = x_7; \bar{z}_1 = \bar{y}x_4; z_2 = x_3y; \bar{z}_2 = x_6\bar{y}; z_3 = x_5y.$$

Логические уравнения для этого случая значительно более простые, чем для выходного блока, который содержит ЭП. Это говорит о том, что использование предложенного алгоритма приводит к значительному упрощению логических уравнений. Пневмосхема управления промышленного робота, синтезированные с учетом типа пневмораспределителей выходного блока, приведена на рис. 4.

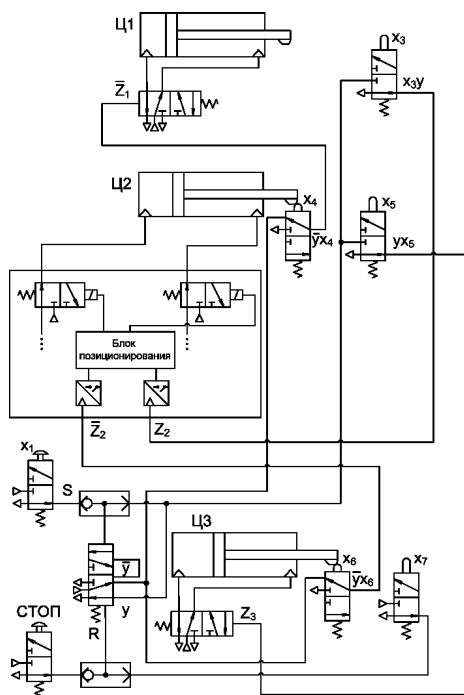


Рисунок 4 – Схема пневмоагрегата промышленного робота

Для построения схемы целесообразно воспользоваться методом безраздельной декомпозиции уравнений, приведенном в [4].

Для синтеза части схемы управления позиционного привода выдвижения руки робота разработаны специальные алгоритмы программного управления для микропроцессорного контроллера.

Таким образом, предложенная структура и метод проектирования, построенный на принципах дискретного управления, имеют несомненные преимущества, так как синтезированные схемы содержат простейшую дискретную гидропневмоаппаратуру, и не требуют использования сложных пропорциональных и следящих гидропневмоаппаратов.

### Литература

1. Черкашенко М.В и др. Синтез дискретных систем управления промышленных роботов // Автоматика и телемеханика. – 1981. – № 5. – С. 148–153. (Printed of USA "Automation and Remote Control").
2. Черкашенко М.В. Метод логического проектирования дискретных систем управления машин–автоматов с пневмо- или гидроприводом. Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления. М.: Машиностроение, 1981. Вып. 8.– С.181–189.
3. Юдицкий С.А. К вопросу описания и синтеза дискретных систем промышленной автоматики // Техническая кибернетика.– 1976.– №1.– С. 131–141.
4. Cherkashenko M.V. Synthesis of schemes of hydraulic and pneumatic automation. 5 International Fluid Power Symposium in Aachen, Germany. March. 2006. Volume 1–Worshop.– P. 147–154.

УДК 62-522

Черкашенко М.В., Фатеев А.Н.

### **СИНТЕЗ СХЕМ ГІДРОПНЕВМОАГРЕГАТІВ**

Приводиться нова структурна організація схем гідропневмоагрегатів дискретно-аналогового управління. Дається метод проектування многотактних схем з використанням дискретних апаратів, а, зокрема, розподільників з однобічним управлінням.